



CTP N°152.02C-16

CAHIER TECHNIQUE PROFESSIONNEL

Dispositions spécifiques applicables aux récipients à double paroi utilisés à la production ou l'emmagasinage de gaz liquéfiés à basse température, aux réchauffeurs cryogéniques atmosphériques dits « HP » et de type « piscine »

Date d'édition : Version C du 23 mars 2016

Observations : Ce document est disponible sur le site de l'AFGC.

Le CTP n° 152.02 A ne peut être dissocié de la décision BSEI n° 07-207 qui le complète
Le CTP n° 152.02 B ne peut être dissocié de la décision BSEI n° 09-200 qui le complète
Le CTP n° 152.02 C ne peut être dissocié de la décision BSERR n°16-063 qui le complète

Mises à jour :

Nature	Repère	Date
Amendements : SPG du 08/03/07 – Décision BSEI n° 07-207 du 27/08/2007	A	Mars 2007
Amendements : SPG du 05/06/09 – Décision BSEI n° 09-200 du 26/11/2009	B	Juin 2009
Amendements : SPG du 29/03/16 – Décision BSERR n° 16-063 du 12/04/2016	C	Mars 2016

Avertissement

Toutes les publications techniques éditées par l'AFGC ou sous son égide ont été élaborées avec le plus grand soin et établies avec les connaissances acquises des membres ou des partenaires de l'AFGC ou des tiers, à la date de leur publication.

L'AFGC n'a ni le pouvoir, ni les moyens de vérifier que ses recommandations ou ses guides sont effectivement et correctement interprétés et appliqués par l'utilisateur qui engage seul sa responsabilité à cet égard.

En conséquence, l'AFGC ne saurait en aucun cas être tenue pour responsable vis-à-vis de quiconque, de l'application par ses membres ou par toute autre personne, de ses recommandations ou de ses guides.

Les publications de l'AFGC font l'objet de révisions périodiques et il appartient aux utilisateurs de se procurer la dernière édition.

L'AFGC accorde la permission de reproduire ce document à la condition qu'il soit indiqué que l'Association en est à l'origine.

Document préparé par le GT ESP (mis à jour pour cette version) :

BLANCHET Jérémy	SOL France
PESTANA Ludovic	MESSER France SAS
DANIEL Cyrille	AIR PRODUCTS
Di GIULIO Christophe	AIR LIQUIDE France Industrie
FRANCOIS Michel	CREALIS DEHON
GRANGIER Richard	LINDE FRANCE
LEFAIVRE Philippe	GAZECHIM
LEMERCIER Hervé	AIR LIQUIDE France Industrie
PARIS Jean-Alexandre	AIR LIQUIDE France Industrie
RIBIERE Jean-Christophe	AIR LIQUIDE SANTE FRANCE
FORTUIT Eric	AFGC

SOMMAIRE

1.	DOMAINE D'APPLICATION	5
2.	OBJET	5
3.	RECIPIENT A DOUBLE PAROI.....	6
3.1	ARGUMENTAIRE.....	6
3.1.1	Paroi extérieure du récipient sous pression	6
3.1.2	Paroi intérieure du récipient sous pression	6
3.1.3	Contraintes d'exploitation.....	6
3.2	DISPOSITIONS SPECIFIQUES RELATIVES A LA CONCEPTION ET LA FABRICATION	6
3.2.1	Equipements construits conformément aux exigences essentielles de sécurité du décret 99-1046 du 13 décembre 1999 ou du décret 2015-799 du 1 juillet 2015.....	6
3.2.2	Equipements construits conformément aux dispositions de l'arrêté du 27 avril 1960 ou du 21 septembre 1978	6
3.2.3	Equipements construits alors que l'arrêté du 27 avril 1960 ou du 21 septembre 1978 était en vigueur mais non soumis à ces dispositions (néo-soumis).....	7
3.3	DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION	7
3.3.1	Généralités	7
3.3.2	Inspections périodiques	8
3.3.3	Requalifications périodiques	8
3.3.4	Accessoires de sécurité	8
3.3.5	Point particulier	9
3.3.5.1	Chômage des équipements.....	9
3.3.5.2	Manipulation des organes de robinetterie.....	9
3.3.5.3	Report de marquage	9
3.3.5.4	Requalification périodique en atelier.....	10
3.3.5.5	Disque de rupture de l'enveloppe extérieure	10
3.3.5.6	Disque de rupture sur le récipient intérieur	10
4.	RECHAUFFEURS ATMOSPHERIQUES DITS « HP ».....	11
4.1	ARGUMENTAIRE.....	11
4.1.1	Paroi extérieure du réchauffeur.....	11
4.1.2	Paroi intérieure du réchauffeur.....	11
4.1.3	Contraintes d'exploitation.....	11
4.2	DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE CONTRUCTION	11
4.3	DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION	11
4.3.1	Inspections périodiques	11
4.3.2	Requalifications périodiques	11
4.3.3	Accessoires de sécurité	12
4.4	DISPOSITIONS SPECIFIQUES	13
4.4.1	Méthode d'évaluation.....	13
4.4.2	Reconstitution d'un dossier descriptif.....	14

5.	RECHAUFFEURS TYPE « PISCINE »	15
5.1	ARGUMENTAIRE.....	15
5.1.1	Paroi intérieure du réchauffeur type piscine	15
5.1.2	Contrainte d'exploitation	15
5.2	DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE CONSTRUCTION	15
5.3	DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION	15
5.3.1	Inspection périodique.....	15
5.3.2	Requalification périodique.....	16
5.3.3	Accessoires de sécurité	16
5.3.4	Dispositions particulières	16
6.	ANNEXES	18
6.1	Annexe 1 : Logigramme récipient à double paroi.....	18
6.2	Annexe 2 : Périodicités de contrôle des accessoires de sécurité des récipients à double paroi.	19
6.3	Annexe 3 : Répartition des actions de contrôles prévues pour les requalifications périodiques sur site des récipients à double paroi.	20
6.4	Annexe 4 : Répartition des actions de contrôles prévues pour les requalifications périodiques en atelier des récipients à double paroi.	22
6.5	Annexe 5 : logigramme périmètre réchauffeur atmosphérique.....	23
6.6	Annexe 6 : logigramme réchauffeur « HP » suivi en tant que récipient	24
6.7	Annexe 7 : modèle de dossier reconstitué	25
6.8	Annexe 8 : modèle de dossier équivalent « jumeau »	26
6.9	Annexe 9 : tubes ou collecteurs couramment utilisés.....	27

1. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent cahier technique professionnel est applicable aux équipements sous pression en matériaux métalliques définis aux alinéas suivants qui sont assujettis, en raison de leurs caractéristiques de volume et de pression, aux dispositions de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié.

Les équipements concernés sont :

- Des récipients à double paroi, isolés thermiquement, utilisés pour la production ou l'emmagasinage de gaz liquéfiés* à basse température : oxygène, azote, gaz rares de l'air (hélium, néon, argon, krypton, xénon), hydrogène, hémioxyde d'azote, dioxyde de carbone et les mélanges de ces gaz entre eux, sous réserve qu'ils soient physiquement et chimiquement compatibles, l'éthylène, le gaz naturel. L'isolement thermique est obtenu par le maintien sous vide de l'espace inter parois, éventuellement complété par la présence d'un isolant dans cet espace.
 - * : *Ceci inclut les gaz totalement évaporés et les fluides supercritiques.*
 - o Nota : Un réchauffeur atmosphérique installé en aval d'un tel récipient, utilisé à une pression inférieure ou égale à ce récipient est à considérer comme un accessoire sous pression de ce récipient conformément aux dispositions de la décision BSEI 06-299.
- Des réchauffeurs atmosphériques haute pression dits « HP » destinés à la vaporisation des gaz cités ci-dessus installés en aval d'un stockage cryogénique et mis sous pression par une pompe cryogénique. Ces réchauffeurs sont ceux dont la pression d'utilisation est supérieure à la PS du stockage installé en amont.
- Des réchauffeurs de type « piscine », installés en aval d'un stockage cryogénique, destinés à la vaporisation ou au réchauffage des gaz cités ci-dessus.
 - o Nota : ces réchauffeurs peuvent servir de mise en pression du stockage.

2. OBJET

Le présent cahier technique professionnel définit, en application de l'article 27-I du décret 99-1046 du 13 décembre 1999 modifié, les conditions particulières applicables en service aux équipements définis au paragraphe 1. Ces conditions particulières concernent :

Pour les récipients à double paroi :

- la dispense des vérifications extérieure et intérieure de la paroi métallique résistant à la pression imposées par l'article 11 (§ 1^{er} et 4) de l'arrêté du 15 mars modifié;
- la dispense des vérifications extérieure et intérieure de la paroi métallique résistant à la pression imposées par l'article 24 (§ 1^{er}) de l'arrêté précité ;
- la dispense d'épreuve hydraulique imposée par l'article 23 (§2) de l'arrêté précité.

Pour les réchauffeurs cryogéniques atmosphériques « HP » ou de type « piscine » :

- la dispense de vérification intérieure de la paroi métallique résistant à la pression, imposée par l'article 11 (§ 1^{er} et 4) de l'arrêté du 15 mars modifié;
- la dispense de vérification intérieure de la paroi métallique résistant à la pression imposée, par l'article 24 (§ 1^{er}) de l'arrêté précité;
- la dispense d'épreuve hydraulique imposée par l'article 23 (§2) de l'arrêté précité.

3. RECIPIENT A DOUBLE PAROI

3.1 ARGUMENTAIRE

3.1.1 Paroi extérieure du récipient sous pression

Le récipient sous pression est considéré comme convenablement protégé contre la corrosion, du fait de l'absence d'humidité liée à l'existence d'un vide dans l'inter parois et de la présence éventuelle d'un isolant inerte.

3.1.2 Paroi intérieure du récipient sous pression

Compte tenu du choix des matériaux, le risque de corrosion interne est nul pour les équipements contenant les gaz liquéfiés à basse température cités au paragraphe 1.

3.1.3 Contraintes d'exploitation

Pour garantir l'absence d'humidité, de pont thermique et le niveau de vide requis dans l'inter parois, la continuité de l'enveloppe de la double paroi est nécessaire, ce qui exclut la présence de trappes de visite.

La présence de l'inter paroi ne permet pas d'examiner la surface extérieure du récipient sous pression sans, au préalable, détériorer de façon irréversible l'enveloppe externe. La destruction de l'enveloppe externe condamne définitivement l'équipement sous pression lui-même. La surface extérieure de la paroi résistant à la pression d'un récipient à double paroi est donc inaccessible.

Compte tenu des basses températures de fonctionnement de ces installations, toute entrée d'humidité et toute présence d'eau résiduelle, liées aux ouvertures, mises à l'air et épreuves du récipient sous pression, conduit à des risques importants de bouchage à la remise en service, risques liés aux difficultés de séchage des équipements.

3.2 DISPOSITIONS SPECIFIQUES RELATIVES A LA CONCEPTION ET LA FABRICATION

Les conditions à respecter pour bénéficier des dispenses mentionnées au paragraphe 2 sont les suivantes.

3.2.1 Equipements construits conformément aux exigences essentielles de sécurité du décret 99-1046 du 13 décembre 1999 ou du décret 2015-799 du 1 juillet 2015.

Les versions des normes NF EN-13458-1, NF EN 13458-2 versions homologuées au moment de la fabrication, devront être respectées. Un document du fabricant devra préciser la conformité à ces référentiels.

Toutefois pour les équipements construits antérieurement à l'adoption de la première édition de ce CTP (novembre 2006) et fabriqués conformément aux exigences essentielles de sécurité du décret 99-1046 du 13 décembre 1999, mais non-conformes aux normes NF EN 13458-1 et 13458-2, la conformité aux prescriptions de l'annexe ZA de la NF EN 13458-3 devra être attestée par l'exploitant.

3.2.2 Equipements construits conformément aux dispositions de l'arrêté du 27 avril 1960 ou du 21 septembre 1978

Il a pu arriver que lors de la fabrication, les marques d'identité, de service, voire le poinçon à tête de cheval des équipements sous pression ne soient pas reportés sur l'enceinte extérieure, empêchant ainsi toute visualisation de ces indications. Les dispositions suivantes seront donc appliquées.

Les équipements construits conformément aux dispositions de l'arrêté du 27 avril 1960 ou du 21 septembre 1978 seront traités selon le logigramme en **annexe 1**.

Dans cette annexe, on dira qu'un équipement est

- identifiable lorsqu'il comporte de façon visible le constructeur, l'année de fabrication et le numéro de série au minimum,
- conforme au décret du 18 janvier 1943 lorsque son procès-verbal d'épreuve initiale est disponible ou qu'il comporte de façon visible la tête de cheval à proximité de la date d'épreuve initiale,
- déclassé lorsqu'il sera maintenu à une pression au plus égale à 0,5 bar pour les gaz du groupe 1 et 4 bar pour les gaz du groupe 2. Un marquage précisant au minimum le ou les gaz contenus et la pression maximale admissible sera alors apposé.

3.2.3 Equipements construits alors que l'arrêté du 27 avril 1960 ou du 21 septembre 1978 était en vigueur mais non soumis à ces dispositions (néo-soumis)

Un marquage identifiant l'équipement et précisant au minimum le ou les gaz contenus et la pression maximale admissible sera apposé.

Une documentation sera établie sur la base d'informations recueillies auprès du constructeur, complétée par une expertise d'un réservoir représentatif.

3.3 DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

3.3.1 Généralités

Lorsqu'ils sont mis en service postérieurement à l'adoption de la première version de ce cahier technique professionnel (novembre 2006), les équipements conformes aux dispositions du décret 99-1046 modifié du 13 décembre 1999 ou du décret 2015-799 du 1 juillet 2015 doivent respecter les prescriptions de la norme NF EN 13458-3 ou de la norme NF EN ISO 21009-2 (version homologuée lors de la mise en service) à l'exception de leur paragraphe 7 (remplacé par les dispositions des paragraphes 3.3.2 à 3.3.4 ci-dessous).

Toutefois, en cas de remplacement d'un équipement sur une installation déjà existante par un équipement similaire, le paragraphe de ces normes relatif aux distances de sécurité, pourra ne pas être entièrement respecté.

Les contrôles visuels peuvent ne pas nécessiter d'accéder à la partie supérieure du récipient. En effet tout pont thermique est visible du sol. En cas de présence de pont thermique avéré, une vérification du vide sera effectuée. Cette vérification sera réalisée à l'occasion de la première remontée en température au-dessus de 0°C sans que ce délai ne puisse excéder la prochaine échéance réglementaire.

L'examen des accessoires sous pression, tels que les réchauffeurs de remise en pression, fait partie intégrante de l'inspection. Les soupapes d'expansion thermique montées sur ces réchauffeurs sont considérées comme des purgeurs de gaz (accessoire sous pression et non de sécurité).

Les comptes-rendus de toutes les vérifications sont disponibles dans le dossier d'exploitation de l'équipement.

3.3.2 Inspections périodiques

L'inspection périodique doit être réalisée au plus tard tous les quarante mois, par du personnel habilité par l'exploitant ou d'un organisme habilité ; elle doit comporter les opérations suivantes :

- contrôle visuel externe, pour vérifier qu'il subsiste un vide entre le ou les récipient(s) intérieur(s) et l'enveloppe extérieure et que la nature des fluides cryogéniques ainsi que leurs températures sont celles autorisées ;
- vérification fonctionnelle sans manœuvrabilité complète des vannes par l'exploitant ou la présentation d'un compte rendu de cette vérification datant de moins de trois mois (cf. 3.3.5.2);
- vérification de l'étanchéité dans les conditions de fonctionnement (présence de fumerolles, de bourrelets de glace anormaux);
- évaluation de tout changement dans les conditions de fonctionnement de l'installation et dans son environnement ;
- examen des accessoires de sécurité défini à la périodicité de 40 mois selon l'**annexe 2**;
- vérification des réchauffeurs de mise en pression ;
- vérification des réchauffeurs atmosphériques de vaporisation utilisés à une pression inférieure ou égale à celle du stockage installé en amont. Ils sont dans ce cas considérés comme des accessoires sous pression et font l'objet des mêmes contrôles que le réservoir auquel ils sont associés.
- vérification de la bonne réalisation, depuis la précédente inspection périodique, des examens des accessoires de sécurité comme définis en **annexe 2**.

3.3.3 Requalifications périodiques

L'inspection de requalification périodique comporte les opérations de l'inspection périodique décrites au paragraphe 3.3.2 ci-dessus excepté le dernier point. La vérification de la bonne réalisation, depuis la précédente requalification périodique, de l'examen des accessoires de sécurité exigé à une périodicité d'au plus 120 mois, selon l'**annexe 2** doit être effectuée.

Les contrôles du présent paragraphe sont effectués au plus tard tous les 120 mois par un organisme habilité ou par du personnel habilité dans des conditions approuvées par le ministre chargé de la sécurité industrielle après avis de la Commission Centrale des Appareils à Pression.

Pour la répartition des opérations, voir **annexe 3**.

3.3.4 Accessoires de sécurité

L'examen des accessoires de sécurité comprend :

- la conformité avec la documentation ;
- l'identification, le marquage ;
- l'adéquation (milieu, dimensionnement, température, pression, réglage)

Lors de l'inspection visuelle, il convient de vérifier :

- l'état général ;
- l'installation/l'orientation ;
- l'étanchéité (notamment, l'absence de givre);
- l'emplacement de la sortie de l'évent ;
- la non obstruction des tuyaux de décharge.

Il faut prendre en compte les propriétés des matériaux, la corrosion par le milieu et l'extérieur, et le risque d'obturation.

Les soupapes de sécurité peuvent être remplacées au lieu d'être soumises à l'essai de performance¹. Le remplacement ou le retarage est réalisé dans les 6 mois précédant la requalification.

Nota : Pour une soupape neuve c'est la date de mise en place qui est à prendre en compte et non pas la date du tarage en usine. Pour une soupape neuve, lorsque la déclaration de conformité CE mentionne la référence de la norme EN ISO 4126-1, la mention de la pression de début d'ouverture portée sur la plaque d'identification fixée de manière sûre à la soupape de sûreté, telle que prévue par la norme, suffit à attester du réglage initial.

Pour une soupape retardée tenue en stock, le délai de 6 mois peut être dépassé sous réserve que le contrôle satisfaisant de l'état des éléments fonctionnels confirme que la soupape n'a pas été utilisée depuis son dernier retarage.

Les contrôles doivent être effectués par une personne compétente.

Lors des requalifications, les contrôles doivent être effectués par du personnel formé et habilité, par l'OH ou par du personnel « reconnu par l'OH ».

¹ : L'essai de performance correspond au contrôle demandé à l'article 26 paragraphe d) de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié. Il est applicable à tous les équipements sans limite de produit *pression* * *volume* et comprend pour le tarage les contrôles suivants :

- la pression de réglage ;
- la hauteur de dépression ou la course ;
- l'étanchéité.

L'inspection peut être effectuée avec les accessoires de sécurité installés ou sur un équipement d'essai. Les résultats des essais doivent être enregistrés et conservés avec le dossier d'exploitation de l'équipement sous pression.

Les dispositifs de sécurité contre les surpressions pour fluides comburants doivent être exempts d'huile ou de graisse, ils doivent disposer d'une attestation et être marqués, emballés et conservés de manière adéquate.

3.3.5 Point particulier

3.3.5.1 Chômage des équipements

Par exception aux précisions apportées à la notion de chômage des équipements sous pression données à l'article 6 de la circulaire du 6 mars 2006, le ou les récipients pourront continuer à contenir, pendant la période de chômage, le fluide contenu en exploitation, dès lors que celui-ci est gazeux, sous une pression supérieure à la pression atmosphérique et inférieure ou égale à 0,5 bar pour les fluides du groupe 1 et inférieure ou égale à 4 bar pour les fluides du groupe 2, et reste inerte vis-à-vis de la paroi.

3.3.5.2 Manipulation des organes de robinetterie

Les manœuvres d'organes de robinetterie requises lors des opérations de vérifications demandées (vérification fonctionnelle des vannes, l'essai de performances..) sont à réaliser par du personnel de l'exploitant selon ses procédures d'exploitation. La vérification fonctionnelle demandée peut être limitée à une manœuvre partielle de ces organes de robinetterie ou à un contrôle visuel du bon état pour les organes de robinetterie dont la manœuvre pourrait présenter un risque technique ou pour la sécurité.

3.3.5.3 Report de marquage

Les reports de marquage réalisés sur les équipements lors de leur exploitation sont réalisés sous la responsabilité de l'exploitant qui joint une copie (ou photo) dans le dossier d'exploitation de l'équipement. Ce report comporte au minimum :

- Nom du constructeur ou du fabricant
- Numéro de série ou d'identification
- Année de fabrication ou la date de première épreuve

- Nature du gaz
- PS

3.3.5.4 Requalification périodique en atelier

La rénovation des équipements en atelier est généralement associée à une requalification. Dans ces conditions les opérations de requalification consistent en :

- contrôle visuel externe;
- vérification fonctionnelle sans manœuvrabilité complète des vannes par l'exploitant;
- vérification des organes de sécurité, conformément au paragraphe 3.3.4. ci-dessus ;
- vérification du niveau de vide dans l'interparoi ;
- essai d'étanchéité qui sera réalisé à une pression de 90% de la pression de tarage des soupapes installées sur le stockage, à l'aide d'un gaz neutre, avec un maximum de 10 bar, à la température ambiante. La pression sera maintenue pendant une heure. La vérification de l'étanchéité au niveau du montage des accessoires est réalisée à l'eau savonneuse.

Voir répartition des opérations en **annexe 4**.

3.3.5.5 Disque de rupture de l'enveloppe extérieure

La paroi externe de ces récipients correspond à un récipient qui en fonctionnement normal est en dépression donc non soumis aux exigences de suivi en service. Cependant, en cas de rupture de la paroi du récipient interne, l'inter paroi normalement sous vide peut voir sa pression s'élever. Sur ce point, l'application de la norme EN 13458-2 § 4.2.6.3 ou antérieurement de l'arrêté du 21 septembre 1978 impose un dispositif de sécurité réglé à au plus 0.5 bar, qui classe, même en phase accidentelle, les équipements en dehors du champ d'application de la directive européenne. Le dispositif de protection est assuré par un disque de rupture dont la vérification est impossible et le marquage non visible après montage. De ce fait, aucune exigence n'est prévue sur ce point dans ce cahier technique professionnel, hormis la vérification de sa présence.

Lorsqu'il sera constaté, lors des rénovations en atelier, que le disque de rupture possède une pression de tarage supérieure à 0,5 bar, ce dernier sera remplacé par un disque de rupture réglé à 0,5 bar maximum avec une section de passage au moins équivalente.

3.3.5.6 Disque de rupture sur le récipient intérieur

Le présent paragraphe traite des disques de rupture protégeant le récipient intérieur et qui peuvent se trouver en parallèle des soupapes protégeant ce même récipient.

Pour les équipements sous pression conformes aux dispositions du décret du 18 janvier 1943 modifié, ces disques de rupture ne sont pas considérés comme des accessoires de sécurité.

Pour les équipements sous pression conformes aux dispositions du décret du 13 décembre 1999 modifié ou celles du décret du 1 juillet 2015, ces disques de rupture, lorsqu'ils ne sont pas cités comme accessoires de sécurité dans la notice d'instruction, ne sont pas considérés comme des accessoires de sécurité.

4. RECHAUFFEURS ATMOSPHERIQUES DITS « HP »

Les réchauffeurs concernés par ce chapitre sont les réchauffeurs cryogéniques atmosphériques haute pression dits « HP » suivis en tant que récipient. Ils sont construits en acier inoxydable austénitique, en alliage de nickel ou d'aluminium.

Le périmètre est défini dans le logigramme en **annexe 5**.

4.1 ARGUMENTAIRE

4.1.1 Paroi extérieure du réchauffeur

Compte tenu du choix des matériaux, le risque de corrosion et d'érosion externe est très faible. En effet, les ailettes nécessaires à l'échange thermique étant en aluminium, le tube sous pression n'est sujet, ni à corrosion galvanique, ni à érosion mécanique.

4.1.2 Paroi intérieure du réchauffeur

Compte tenu du choix des matériaux, le risque de corrosion interne est négligeable pour ces équipements contenant les gaz liquéfiés à basse température cités au paragraphe 1.

Compte tenu des modes de fonctionnement et du nombre faible de mise en froid, ces équipements ne sont pas soumis au phénomène de fatigue thermique.

4.1.3 Contraintes d'exploitation

Ces équipements cryogéniques véhiculent des gaz cryogéniques et sans humidité pour des applications industrielles, alimentaires ou médicales. La réalisation d'une épreuve hydraulique avec introduction d'eau n'est pas recommandée. Elle engendrerait une période d'arrêt prolongée compte tenu de la difficulté à les sécher convenablement et des risques pour l'équipement ou l'installation lors de la remise en froid.

4.2 DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE CONSTRUCTION

Les conditions à respecter pour bénéficier des dispenses mentionnées au paragraphe 2 sont indiquées dans le logigramme en **annexe 6**.

4.3 DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

Appliquer le logigramme décisionnel en **annexe 6** pour le maintien en service et le suivi en exploitation en tant que récipient.

4.3.1 Inspections périodiques

L'inspection périodique doit être réalisée au plus tard tous les quarante mois, par du personnel habilité par l'exploitant ou d'un organisme habilité ; elle doit comporter les opérations suivantes :

- contrôle visuel externe;
- vérification de l'étanchéité dans les conditions de fonctionnement (présence de fumerolles, de bourrelets de glace anormaux);
- Examen des accessoires de sécurité : inspection visuelle.

4.3.2 Requalifications périodiques

L'inspection de requalification périodique comporte :

- les opérations de l'inspection périodique décrites au paragraphe 4.3.1 ci-dessus excepté le dernier point.

- La vérification des accessoires de sécurité selon l'article 26 de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié.
- Un contrôle complémentaire par ressuage de 10 % des soudures accessibles, sauf pour ceux dimensionnés avec une contrainte inférieure ou égale à $R_m/4$.

Les contrôles du présent paragraphe sont effectués au plus tard tous les 120 mois par un organisme habilité ou par du personnel habilité dans des conditions approuvées par le ministre chargé de la sécurité industrielle après avis de la Commission Centrale des Appareils à Pression.

4.3.3 Accessoires de sécurité

L'examen des accessoires de sécurité comprend :

- la conformité avec la documentation ;
- l'identification, le marquage ;
- l'adéquation (milieu, dimensionnement, température, pression, réglage)

Lors de l'inspection visuelle, il convient de vérifier :

- l'état général ;
- l'installation/l'orientation ;
- l'étanchéité (notamment, l'absence de givre);
- l'emplacement de la sortie de l'évent ;
- la non obstruction des tuyaux de décharge.

Les soupapes de sécurité sont remplacées ou retarées, comme demandé à l'article 26 paragraphe d) de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié. Ce changement ou retarage est applicable à tous les équipements sans limite de produit *pression * volume*.

Pour une soupape neuve ou retarée, se référer au nota du paragraphe 3.3.4.

Les contrôles doivent être effectués par une personne compétente.

Lors des requalifications, les contrôles doivent être effectués par du personnel formé et habilité, par l'OH ou par du personnel « reconnu par l'OH ».

Les dispositifs de sécurité contre les surpressions pour fluides comburants doivent être exempts d'huile ou de graisse, ils doivent disposer d'une attestation et être marqués, emballés et conservés de manière adéquate.

4.4 DISPOSITIONS SPECIFIQUES

4.4.1 Méthode d'évaluation

Pour les équipements identifiables, en l'absence de dossier descriptif ou de dossier jumeau, après recherche infructueuse auprès du fabricant, l'exploitant prendra les informations dans la documentation du fabricant.

A défaut de documentation ou de justificatif, la méthode d'évaluation est la suivante :

1 : Identification de la pression maximale admissible [PS] :

Prendre la valeur indiquée sur la plaque.

Si absence de plaque, prendre la valeur de réglage de l'accessoire de sécurité associé au réchauffeur à évaluer.

2 : Identification du matériau par analyse (PMI « Positive Material Identification » ou méthode équivalente)

Exemples de matériaux couramment utilisés :

- Acier inoxydable austénitique type 304L sans soudure (ou équivalent 1.4306, 1.4307)
- Acier inoxydable austénitique type 316L sans soudure (1.4404)
- Cupro-nickel MONEL® 400 (UNS N04400)
- Alliage aluminium : tube à ailettes en EN AW-6060/T6, tube étiré en EN AW-5074 et -5083

3 : Valeur de Rm à température ambiante à utiliser pour le calcul

- Acier inox nuances 1.4306 ou 1.4307 ou 304L : Rm = 460 MPa (selon EN 10216-5)
- Acier inox nuances 1.4404 ou 316L : Rm = 490 MPa (selon EN 10216-5)
- Cupro-Nickel MONEL® 400 (UNS N04400) : Rm = 586 MPa (ASTM B163-08)
- EN AW-6060/T6 : Rm 190 MPa (selon EN 755-2)
- EN AW-5754 : Rm = 180 Mpa (selon EN 755-2)
- EN AW-5083 : Rm = 270 Mpa (selon EN 755-2)
- Autre matériau : utiliser la valeur minimale de la ou les nuances correspondantes dans la norme appropriée.

4 : Mesures des épaisseurs [e] et des diamètres extérieurs [De] des tubes principaux et des éventuels collecteurs. (2 mesures par tube au minimum)

5 : Calcul de la contrainte [f] et du ratio [r] pour chaque couple diamètre/épaisseur

$$\text{Contrainte : } f = \frac{Ps(De - e)}{2e} \quad \text{Ratio : } r = \frac{Rm}{f}$$

- PS en MPa
- De et e en mm

6 : Evaluation :

Evaluation Rm/3 satisfaite si tous les ratios r sont supérieurs à 3

Evaluation Rm/4 satisfaite si tous les ratios r sont supérieurs à 4

Evaluation Rm/6 satisfaite si tous les ratios r sont supérieurs à 6

Exemple d'évaluation d'un réchauffeur sans collecteur avec un tube couramment utilisé :

Pression maximale admissible $PS = 300$ bar soit 30 MPa

Matériau identifié : type 304 soit $R_m = 460$ MPa

Diamètre extérieur $De = 12$ mm – Epaisseur mesurée $e = 2$ mm.

Contrainte calculée $f = 30 \cdot (12 - 2)/2.2 = 75$ MPa

Ratio $r = 460/75 = 6,1$

Evaluation $R_m/6$ satisfaite.

Tableau des principaux tubes utilisés : voir **annexe 9**

Ce tableau indique les épaisseurs minimales nécessaires des tubes, selon leur diamètre extérieur et la PS, pour respecter des taux de contraintes $R_m/6$, $R_m/4$ et $R_m/3$.

4.4.2 Reconstitution d'un dossier descriptif

Le dossier descriptif est établi :

- Soit à l'issue d'une évaluation satisfaisante suivant le modèle de l'**annexe 7** ;
- Soit à partir du dossier d'un réchauffeur « jumeau » (même fabricant et même type) suivant le modèle de l'**annexe 8**.

Ce dossier comprend notamment :

- Les caractéristiques essentielles de l'équipement (PS, volume, température...);
- Une photo de l'équipement et de sa plaque ;
- Un plan ou un schéma reconstitué de l'équipement ;
- Au besoin les résultats de l'évaluation ou le dossier descriptif du « jumeau » ;
- L'identification de l'accessoire de sécurité associé avec ses caractéristiques.

Le dossier doit être validé par l'exploitant.

La présence et le contenu de ce dossier seront vérifiés lors des inspections et des requalifications périodiques.

5. RECHAUFFEURS TYPE « PISCINE »

Le présent paragraphe s'applique aux réchauffeurs cryogéniques non atmosphériques en acier inoxydable austénitique, qui sont assujettis, en raison de leurs caractéristiques de volume et de pression, aux dispositions de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié.

Ils sont liés à un réservoir de stockage à pression atmosphérique, à un récipient isolé sous vide ou à un récipient isolé en polyuréthane contenant le gaz liquéfié. Ils sont raccordés de manière directe ou via une pompe cryogénique et/ou un réchauffeur atmosphérique.

Ces réchauffeurs sont généralement:

- de type faisceaux avec collecteur, et tubes en nappes, en herses, ou tubes en U,
- de type serpentin.

Ils sont plongés dans un réservoir* contenant de l'eau ou eau glycolée chauffée par de la vapeur, par un réchauffeur électrique, ou par circulation d'eau chaude.

(*) : Ce réservoir n'est pas soumis aux dispositions de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié)

5.1 ARGUMENTAIRE

5.1.1 Paroi intérieure du réchauffeur type piscine

Ces réchauffeurs contiennent en permanence un des gaz cités au § 1 domaine d'application, produits ou épurés à partir des mêmes gaz liquéfiés à très basse température et exempts de toute impureté corrosive et d'humidité.

Lors des périodes d'arrêt le réchauffeur reste en pression du même gaz.

5.1.2 Contrainte d'exploitation

De part la conception de ces équipements, l'inspection interne est difficile et très limitée.

Par ailleurs, compte tenu des basses températures de fonctionnement de ces installations, toute entrée d'humidité et toute présence d'eau résiduelle, liées aux ouvertures, mises à l'air et épreuves, peut conduire à :

- des risques importants de bouchage à la remise en service, risques liés aux difficultés de séchage des équipements,
- une dégradation non admissible de la pureté du gaz pour l'utilisateur final.

5.2 DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE CONSTRUCTION

Les réchauffeurs doivent répondre à la disposition constructive suivante :

- la contrainte maximale admissible f est inférieure ou égale à :

mini de {1/4 de R_m ; 3/5 de $R_{p1,0}$ à la température maxi de service}

Si l'état descriptif ou le dossier disponible n'en fait pas mention, le respect de cette disposition sera vérifié à l'aide d'une note de calcul. Celle-ci pourra être effectuée a posteriori.

5.3 DISPOSITIONS SPECIFIQUES DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

5.3.1 Inspection périodique

L'inspection périodique doit être réalisée au plus tard tous les quarante mois, par du personnel habilité par l'exploitant ou d'un organisme habilité ; elle doit comporter les opérations suivantes :

- contrôle visuel externe;
- évaluation de tout changement dans les conditions de fonctionnement de l'installation et dans son environnement ;

- Examen des accessoires de sécurité : inspection visuelle.

Ces équipements sont dispensés de vérification intérieure.

5.3.2 Requalification périodique

La requalification périodique doit être réalisée au plus tard tous les dix ans par un organisme habilité ; elle doit comporter les opérations suivantes :

- les opérations de l'inspection périodique décrites au paragraphe 5.3.1 ci-dessus excepté le dernier point.
- la vérification des accessoires de sécurité selon l'article 26 de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié.
- ressuage des soudures accessibles.
- test d'étanchéité du faisceau à la pression de fonctionnement avec le fluide en service ou azote, avec une des méthodes suivantes :
 - test d'étanchéité à la bulle faisceau en place avec de l'eau dans le réservoir. Lors de ce contrôle les parties émergées seront vérifiées avec de l'eau savonneuse conformément à l'annexe « contrôle d'étanchéité » du CODAP dernière édition ;
 - test d'étanchéité avec détection de fuite par détecteur sonore.

Ces équipements sont dispensés de vérification intérieure et d'épreuve hydraulique.

5.3.3 Accessoires de sécurité

L'examen des accessoires de sécurité comprend :

- la conformité avec la documentation ;
- l'identification, le marquage ;
- l'adéquation (milieu, dimensionnement, température, pression, réglage)

Lors de l'inspection visuelle, il convient de vérifier :

- l'état général ;
- l'installation/l'orientation ;
- l'étanchéité (notamment, l'absence de givre);
- l'emplacement de la sortie de l'évent ;
- la non obstruction des tuyaux de décharge.

Les soupapes de sécurité peuvent être remplacées ou retarées, comme demandé à l'article 26 paragraphe d) de l'arrêté du 15 mars 2000 modifié.

Les contrôles doivent être effectués par une personne compétente.

Lors des requalifications, les contrôles doivent être effectués par du personnel formé et habilité, par l'OH ou par du personnel « reconnu par l'OH ».

Pour une soupape neuve ou retarée, se référer au nota du paragraphe 3.3.4.

5.3.4 Dispositions particulières

Tout arrêt et ouverture doit être mise à profit pour réaliser une inspection interne des parties accessibles avec un endoscope par un contrôleur certifié Cofrend ou équivalent. Le compte rendu de cette inspection doit être joint au dossier de suivi de l'équipement.

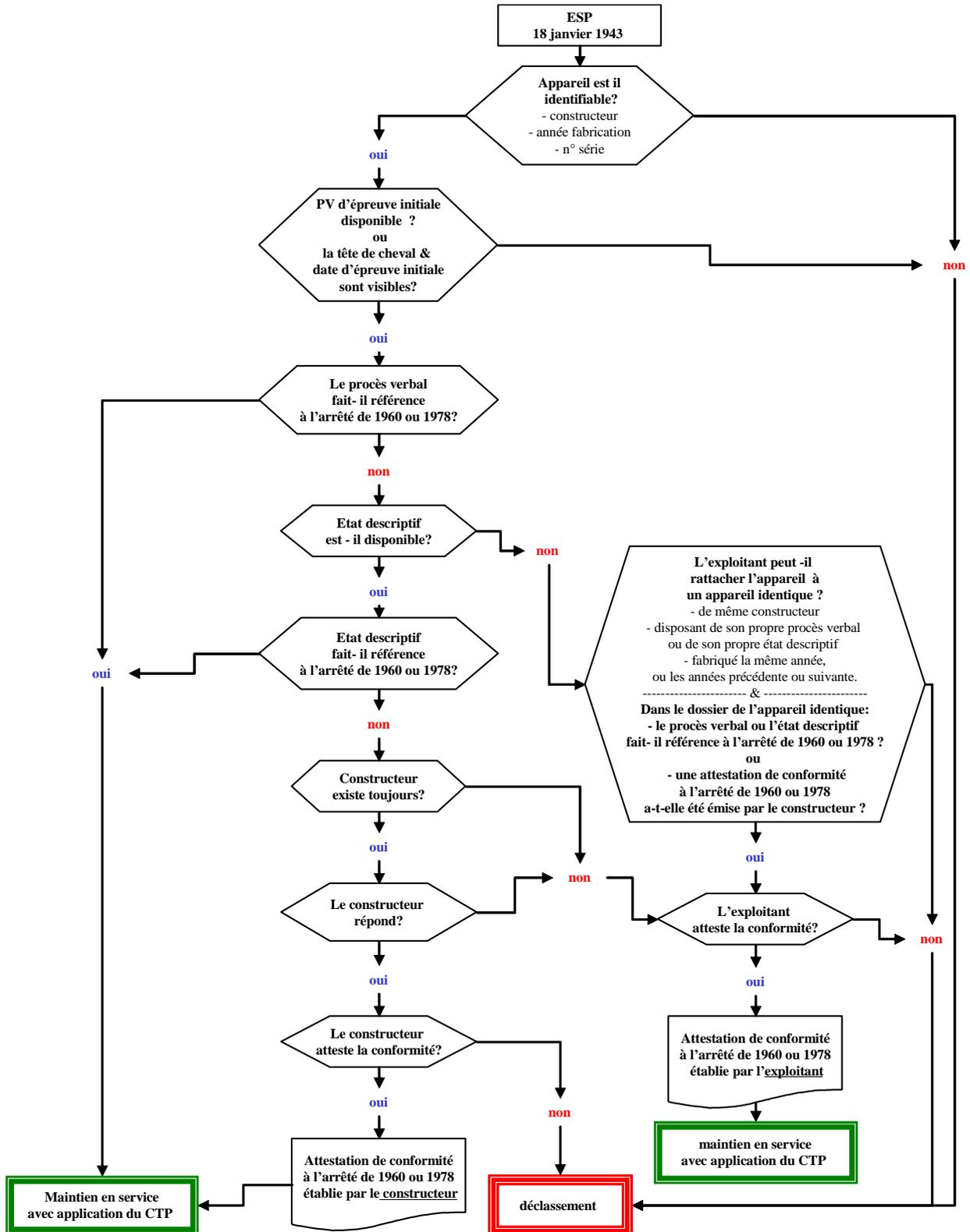
Toute intervention doit être traitée suivant le guide AQUAP n°99/13.

En cas d'intervention notable, l'épreuve du contrôle final peut présenter des difficultés matérielles importantes, qui sont disproportionnées au regard des garanties apportées. L'épreuve peut être

remplacée, pour les parties concernées par l'intervention, par la réalisation de contrôles non destructifs des assemblages de tubes effectués par un contrôleur certifié Cofrend, sous réserve que les tubes aient subi un essai hydrostatique ou courant de Foucault tel que défini dans sa norme produit.

6. ANNEXES

6.1 Annexe 1 : Logigramme récipient à double paroi.



6.2 Annexe 2 : Périodicités de contrôle des accessoires de sécurité des récipients à double paroi.

Type de dispositif ; soupape de sécurité, disque de rupture	au remplacement	tous les ans	tous les 2 ans	tous les 40 mois	tous les 10 ans
Soupapes de sécurité pilotées	- certificats et marquage	- inspection visuelle ; - essai de performance	—	—	—
Soupapes de sécurité pour gaz inflammables et mélanges de gaz	- certificats et marquage ; - inspection visuelle	—	- inspection visuelle	- essai de performance ; - certificats et marquage	—
Soupapes de sécurité pour gaz inertes et oxydants et leurs mélanges	- certificats et marquage	—	—	- inspection visuelle	- essai de performance ; - certificats et marquage
Disques de rupture (du récipient intérieur)	- certificats et marquage	—	—	- inspection visuelle	- changement ; - certificats et marquage

6.3 Annexe 3 : Répartition des actions de contrôles prévues pour les requalifications périodiques sur site des récipients à double paroi.

Actions de contrôle		Organisme habilité ou personnel habilité*
Fabrication		* Selon un référentiel approuvé pour la requalification
§ 3.2.1 Un document du fabricant devra préciser la conformité à ces référentiels.	Demande de l'exploitant	Examen de l'attestation
§3.2.1 Cette norme devra être attestée par l'exploitant.	Rédaction	Examen de l'attestation
§ 3.2.3 Un marquage identifiant l'équipement et précisant au minimum le ou les gaz contenus et la pression maximale admissible sera apposé.	Réalisation du report des marques	Examen des documents et sur l'équipement
Inspection		
Visuelle externe, pour vérifier qu'il subsiste un vide entre le ou les récipient(s) intérieur(s) et l'enveloppe extérieure et que la nature des fluides cryogéniques ainsi que leurs températures sont celles autorisées	Réalisation par l'exploitant par du personnel habilité	Sous sa responsabilité (**)
Fonctionnelle sans manœuvrabilité complète des vannes par l'exploitant	Réalisation par l'exploitant	Fait en présence ou Examen des comptes rendus
Vérification des accessoires sous pression, par exemple les soupapes d'expansion thermiques.	Réalisation par l'exploitant par du personnel habilité	Sous sa responsabilité (**)
Etanchéité dans les conditions de fonctionnement (présence de fumerolles, de bourrelets de glace)	Réalisation par l'exploitant	Sous sa responsabilité (**)
Tout changement dans les conditions de fonctionnement de l'installation et dans son environnement	Réalisation par l'exploitant	Sous sa responsabilité (**)
Accessoires de sécurité selon l' annexe 2 (réalisation des contrôles à 40 mois);	Voir accessoires de sécurité	Voir accessoires de sécurité
Bonne réalisation, depuis la précédente inspection périodique, des examens des accessoires de sécurité exigés à une périodicité d'au plus 40 mois, selon l' annexe 2		<u>Inspection périodique</u> : Examen des comptes rendus.
Vérification de la bonne réalisation, depuis la précédente requalification périodique, de l'examen des accessoires de sécurité exigé à une périodicité d'au plus 120 mois, selon l' annexe 2 doit être effectuée		<u>Requalification périodique</u> : Examen des comptes rendu

Accessoires de sécurité		
<ul style="list-style-type: none"> - la conformité avec la documentation ; - l'identification, le marquage ; - l'Adéquation (milieu, dimensionnement, température, pression, réglage) <p>Lors de l'inspection visuelle, il convient de vérifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'état général ; - l'installation/l'orientation ; - l'étanchéité (notamment, l'absence de givre); - l'emplacement de la sortie de l'évent ; - la non obstruction des tuyaux de décharge. 	Réalisation par l'exploitant par du personnel habilité, ou par OH, ou par personnel reconnu par l'OH.	Sous sa responsabilité (**)
<p>L'essai de performance:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la pression de réglage ; - la hauteur de dépression ou la course ; - l'étanchéité. 	Sous la responsabilité de l'exploitant	Examen du compte rendu

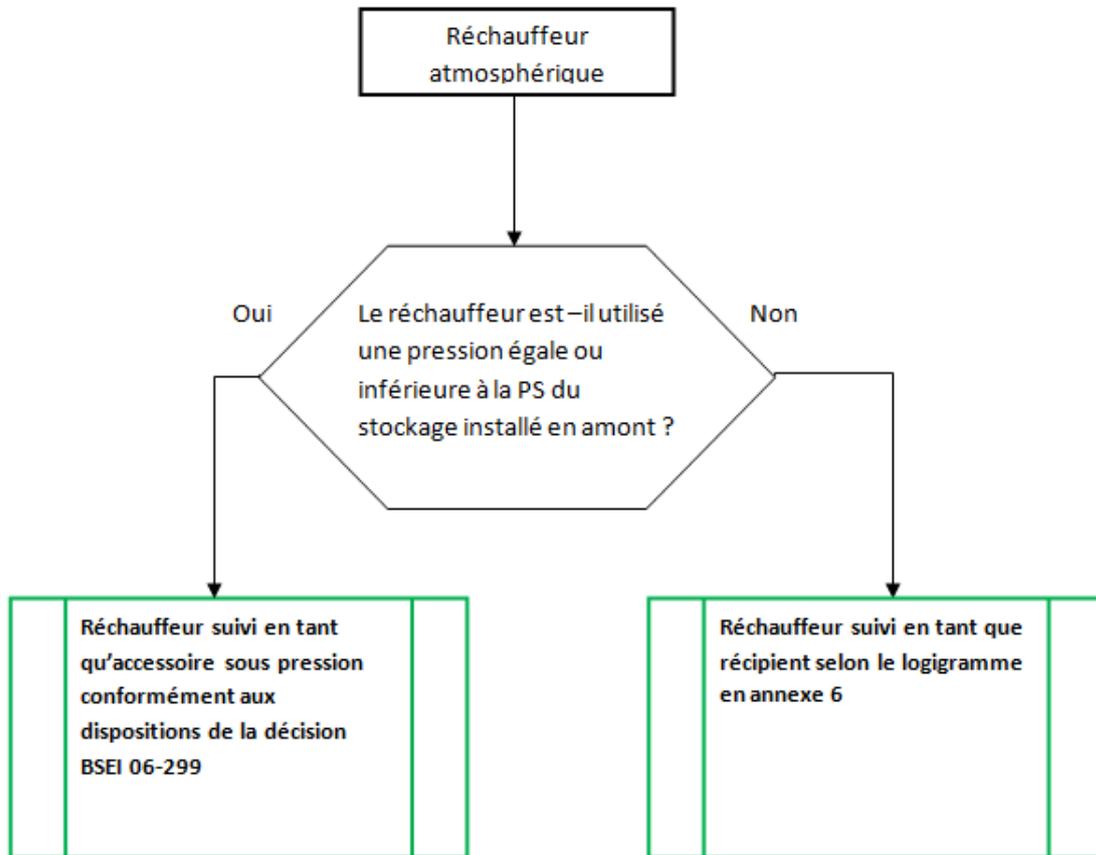
(**) Un organisme habilité peut faire réaliser les contrôles par d'autres personnes compétentes de manière similaire à la disposition de la lettre BSEI 06-080 article 23 paragraphe 4 fin du premier alinéa.

6.4 Annexe 4 : Répartition des actions de contrôles prévues pour les requalifications périodiques en atelier des récipients à double paroi.

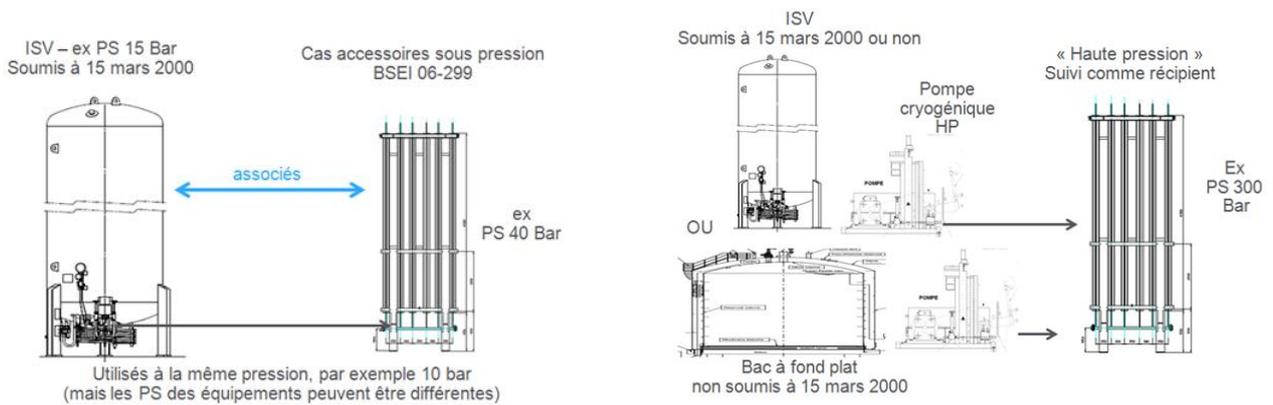
Actions de contrôle	Exploitant	Organisme habilité ou personnel habilité*
		* Selon un référentiel approuvé pour la requalification
Requalification périodique en atelier		
Contrôle visuel externe		Sous sa responsabilité (**)
Vérification fonctionnelle sans manœuvrabilité complète des vannes par l'exploitant	Réalisation par l'exploitant	Fait en présence ou Examen des comptes rendus
Vérification du niveau de vide dans l'interparoi	Réalisation par l'exploitant	Examen des comptes rendus
Essai d'étanchéité réalisé à une pression de 90% de la pression de tarage des soupapes installées sur le stockage à l'aide d'un gaz neutre, avec un maximum de 10 bar, à la température ambiante. La pression sera maintenue pendant une heure. La vérification de l'étanchéité au niveau du montage des accessoires est réalisée à l'eau savonneuse	Réalisation par l'exploitant	Sous sa responsabilité (**)
Examen des accessoires de sécurité selon l' annexe 2 (réalisation des contrôles à 40 mois)	Voir accessoires de sécurité	Voir accessoires de sécurité
Accessoires de sécurité § 3.3.4.		
<ul style="list-style-type: none"> - la conformité avec la documentation ; - l'identification, le marquage ; - l'adéquation (milieu, dimensionnement, température, pression, réglage) Lors de l'inspection visuelle, il convient de vérifier : <ul style="list-style-type: none"> - l'état général ; - l'installation/l'orientation ; - l'étanchéité par test d'eau savonneuse ; - l'emplacement de la sortie de l'évent ; - la non obstruction des tuyaux de décharge. 	Réalisation par l'exploitant par du personnel habilité, ou par OH, ou par personnel reconnu par l'OH.	Sous sa responsabilité (**)
L'essai de performance: <ul style="list-style-type: none"> - la pression de réglage ; - la hauteur de dépression ou la course ; - l'étanchéité 	Sous la responsabilité de l'exploitant	Examen des comptes rendus

(**) Un organisme habilité peut faire réaliser les contrôles par d'autres personnes compétentes de manière similaire à la disposition de la lettre BSEI 06-080 article 23 paragraphe 4 fin du premier alinéa.

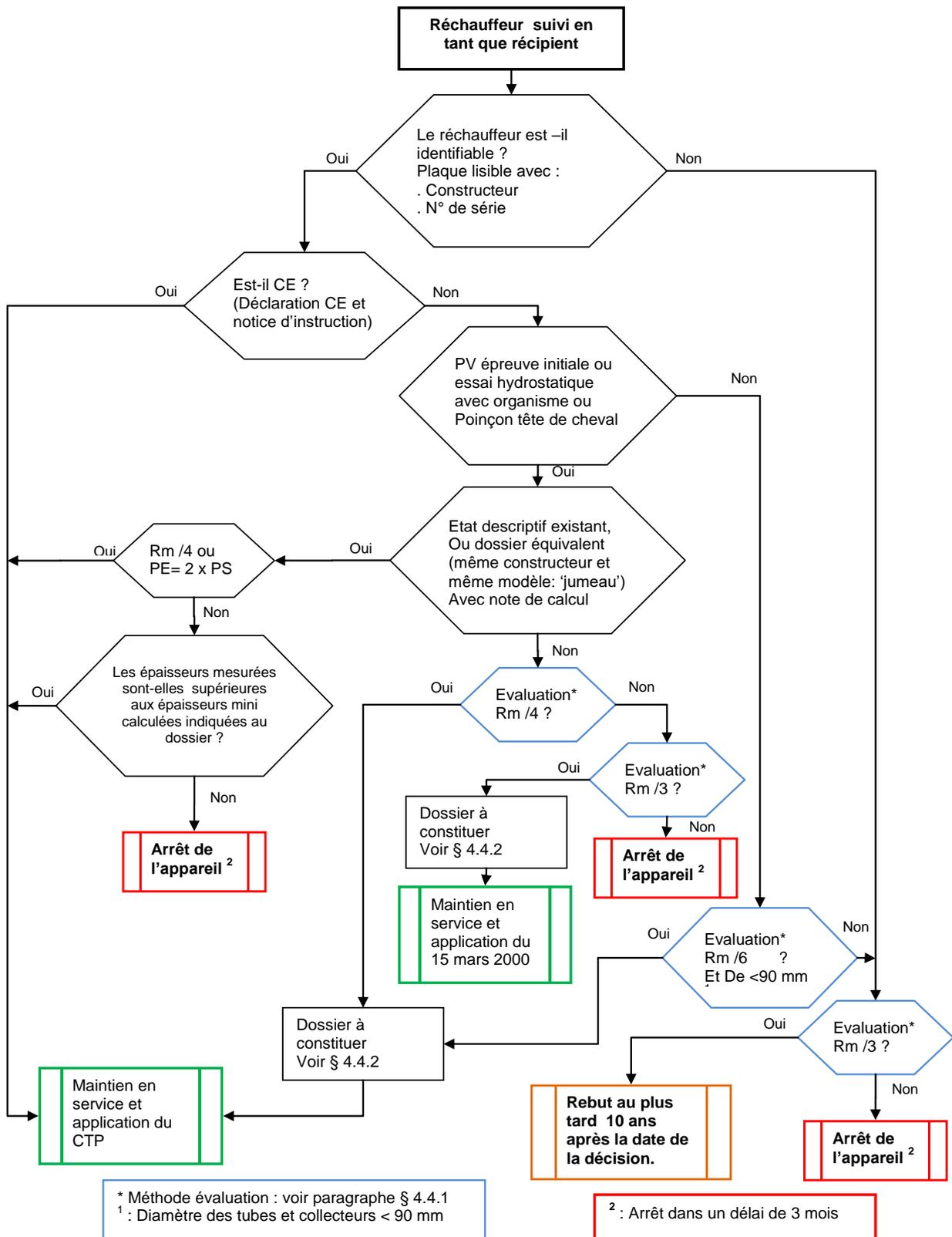
6.5 Annexe 5 : logigramme périmètre réchauffeur atmosphérique



Schémas de principe



6.6 Annexe 6 : logigramme réchauffeur « HP » suivi en tant que récipient



6.7 Annexe 7 : modèle de dossier reconstitué

Modèle de dossier descriptif reconstitué pour un réchauffeur atmosphérique

Date de création du dossier :

Indice :

Dossier complètement reconstitué

Caractéristiques minimales :

Constructeur (nom et adresse) :

N° de série ou de fabrication :

Pression maximale admissible PS [bar] :

Volume V [L] :

Fluides autorisés :

Températures de service mini / maxi (°C): /

Plan ou schéma (reconstitué) :

Exploitant (Nom et adresse) :

Présence de collecteurs : OUI NON Diamètre extérieur :

Tête de cheval à la construction OUI NON

Autre données éventuelles :

Modèle ou type :

Année de fabrication :

Pression d'épreuve PE [bar] :

Capacité de vaporisation (Nm³/h) :

Repère exploitant :

Evaluation du dimensionnement, identification des matériaux, résultats des mesures et calculs

Evaluation satisfaisante à Rm/6 : Rm/4 : Rm/3 :

Partie de l'équipement	Matériau identifié*	Type nuance*	Rm Mpa*	Diamètre De (mm)*	Epaisseur E (mm)*	Contrainte f calculée	Ratio r
Tube 1							
Tube 2							
Tube 3							
Collecteur 1							
Collecteur 2							
Collecteur 3							

Note * : ces données sont issues prioritairement de la documentation du fabricant et, à défaut seulement, issues des analyses et mesures réalisées sur les équipements.

Je soussigné « Nom, Prénom », « Fonction ou Titre », exploitant de l'équipement décrit ci-dessus, certifie que ce dernier répond aux indications du présent dossier descriptif et des documents et plans qui lui sont associés.

Fait à _____, le _____

VISA et TAMPON

Documents joints au présent dossier :

- Photos du réchauffeur
- Photo de sa plaque d'identification / d'identité
-

6.8 Annexe 8 : modèle de dossier équivalent « jumeau »

Modèle de dossier jumeau

Date de création du dossier :**Indice :**

Dossier équivalent à partir du dossier d'un réchauffeur « jumeau » (même fabricant et même modèle/type)

Modèle ou type :

Numéro de série/de fabrication du réchauffeur « jumeau » :

Année de fabrication du réchauffeur « jumeau » :

Caractéristiques ESP

Constructeur (nom et adresse) :

N° de série ou de fabrication :

Pression maximale de service PS [bar] :

Volume V [L] :

Fluides autorisés :

Températures de service mini / maxi (°C): /

Plan ou schéma (reconstitué) :

Exploitant (Nom et adresse) :

Présence de collecteurs : OUI NON Diamètre extérieur :Tête de cheval à la construction OUI NON**Autre données éventuelles :**

Année de fabrication :

Pression d'épreuve PE [bar] :

Capacité de vaporisation (Nm³/h) :

Repère exploitant :

Evaluation satisfaisante à Rm/4 : Pression d'épreuve au double de la PS : **Je soussigné « Nom, Prénom », « Fonction ou Titre », exploitant de l'équipement décrit ci-dessus, certifie que ce dernier répond aux indications du présent dossier descriptif et des documents et plans qui lui sont associés.****Fait à _____, le _____****VISA et TAMPON**Documents joints au présent dossier :

- Photos du réchauffeur
- Photo de sa plaque d'identification / d'identité
- Dossier du réchauffeur jumeau intégrant les données de calcul
-

6.9 Annexe 9 : tubes ou collecteurs couramment utilisés.

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

INOX type 304L

Rm

460 Mpa

Sans coefficient de soudure (z = 1)

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} mm \\ MPa \end{matrix}$$

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	250	300	320	350	360	380	400	420
12	e pour Rm/3	0,90	1,07	1,13	1,23	1,26	1,32	1,38	1,45
	e pour Rm/4	1,18	1,38	1,47	1,58	1,62	1,70	1,78	1,85
	e pour Rm/6	1,68	1,96	2,07	2,23	2,28	2,38	2,48	2,58
12,7	e pour Rm/3	0,96	1,13	1,20	1,30	1,33	1,40	1,47	1,53
	e pour Rm/4	1,25	1,47	1,55	1,68	1,72	1,80	1,88	1,96
	e pour Rm/6	1,78	2,08	2,19	2,36	2,41	2,52	2,63	2,73
16	e pour Rm/3	1,21	1,43	1,51	1,64	1,68	1,76	1,85	1,93
	e pour Rm/4	1,57	1,85	1,95	2,11	2,17	2,27	2,37	2,47
	e pour Rm/6	2,24	2,62	2,76	2,97	3,04	3,18	3,31	3,44
21,3	e pour Rm/3	1,61	1,90	2,01	2,18	2,24	2,35	2,46	2,57
	e pour Rm/4	2,09	2,46	2,60	2,81	2,88	3,02	3,16	3,29
	e pour Rm/6	2,99	3,49	3,68	3,96	4,05	4,23	4,41	4,58
26,7	e pour Rm/3	2,01	2,38	2,52	2,74	2,81	2,94	3,08	3,22
	e pour Rm/4	2,62	3,08	3,26	3,53	3,61	3,79	3,96	4,12
	e pour Rm/6	3,74	4,37	4,61	4,96	5,08	5,30	5,52	5,74
33,4	e pour Rm/3	2,52	2,98	3,16	3,42	3,51	3,68	3,85	4,02
	e pour Rm/4	3,27	3,85	4,08	4,41	4,52	4,74	4,95	5,16
	e pour Rm/6	4,68	5,47	5,77	6,21	6,35	6,63	6,91	7,18
42,2	e pour Rm/3	3,18	3,76	3,99	4,32	4,43	4,65	4,87	5,08
	e pour Rm/4	4,14	4,87	5,15	5,57	5,71	5,98	6,25	6,52
	e pour Rm/6	5,92	6,91	7,29	7,84	8,02	8,38	8,73	9,07

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

INOX type 316L

Rm

490 Mpa

Sans coefficient de soudure (z = 1)

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} mm \\ MPa \end{matrix}$$

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	250	300	320	350	360	380	400	420
12	e pour Rm/3	0,85	1,01	1,07	1,16	1,19	1,25	1,31	1,37
	e pour Rm/4	1,11	1,31	1,39	1,50	1,54	1,61	1,68	1,76
	e pour Rm/6	1,59	1,86	1,97	2,12	2,17	2,26	2,36	2,45
12,7	e pour Rm/3	0,90	1,07	1,13	1,23	1,26	1,32	1,39	1,45
	e pour Rm/4	1,18	1,39	1,47	1,59	1,63	1,71	1,78	1,86
	e pour Rm/6	1,69	1,97	2,08	2,24	2,29	2,40	2,50	2,60
16	e pour Rm/3	1,14	1,35	1,43	1,55	1,59	1,67	1,75	1,82
	e pour Rm/4	1,48	1,75	1,85	2,00	2,05	2,15	2,25	2,34
	e pour Rm/6	2,12	2,48	2,62	2,82	2,89	3,02	3,15	3,27
21,3	e pour Rm/3	1,51	1,79	1,90	2,06	2,11	2,22	2,32	2,43
	e pour Rm/4	1,97	2,32	2,46	2,66	2,73	2,86	2,99	3,12
	e pour Rm/6	2,83	3,31	3,49	3,76	3,85	4,02	4,19	4,36
26,7	e pour Rm/3	1,90	2,25	2,38	2,58	2,65	2,78	2,91	3,04
	e pour Rm/4	2,47	2,91	3,08	3,34	3,42	3,59	3,75	3,91
	e pour Rm/6	3,54	4,14	4,37	4,71	4,82	5,04	5,25	5,46
33,4	e pour Rm/3	2,37	2,81	2,98	3,23	3,32	3,48	3,64	3,81
	e pour Rm/4	3,09	3,64	3,86	4,18	4,28	4,48	4,69	4,89
	e pour Rm/6	4,43	5,18	5,47	5,89	6,03	6,30	6,57	6,83
42,2	e pour Rm/3	3,00	3,55	3,77	4,08	4,19	4,40	4,60	4,81
	e pour Rm/4	3,91	4,60	4,88	5,28	5,41	5,67	5,92	6,18
	e pour Rm/6	5,60	6,55	6,91	7,45	7,62	7,96	8,30	8,63

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

Monel© 400 UNS N04400 Rm 586 Mpa
 Sans coefficient de soudure (z = 1) ASTM B163 - 08

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} mm \\ MPa \end{matrix}$$

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	250	300	320	350	360	380	400	420
12	e pour Rm/3	0,72	0,86	0,91	0,99	1,01	1,06	1,11	1,16
	e pour Rm/4	0,94	1,11	1,18	1,28	1,31	1,38	1,44	1,50
	e pour Rm/6	1,36	1,60	1,69	1,82	1,87	1,95	2,04	2,12
12,7	e pour Rm/3	0,76	0,91	0,96	1,04	1,07	1,13	1,18	1,23
	e pour Rm/4	1,00	1,18	1,25	1,36	1,39	1,46	1,53	1,59
	e pour Rm/6	1,44	1,69	1,79	1,93	1,98	2,07	2,16	2,25
16	e pour Rm/3	0,96	1,14	1,21	1,32	1,35	1,42	1,49	1,55
	e pour Rm/4	1,26	1,49	1,58	1,71	1,75	1,84	1,92	2,01
	e pour Rm/6	1,82	2,13	2,25	2,43	2,49	2,61	2,72	2,83
21,3	e pour Rm/3	1,28	1,52	1,61	1,75	1,80	1,89	1,98	2,07
	e pour Rm/4	1,67	1,98	2,10	2,27	2,33	2,45	2,56	2,67
	e pour Rm/6	2,42	2,84	3,00	3,24	3,31	3,47	3,62	3,77
26,7	e pour Rm/3	1,61	1,90	2,02	2,20	2,25	2,37	2,48	2,59
	e pour Rm/4	2,10	2,48	2,63	2,85	2,92	3,07	3,21	3,35
	e pour Rm/6	3,03	3,55	3,76	4,06	4,16	4,35	4,54	4,73
33,4	e pour Rm/3	2,01	2,38	2,53	2,75	2,82	2,96	3,10	3,24
	e pour Rm/4	2,63	3,10	3,29	3,56	3,65	3,83	4,01	4,19
	e pour Rm/6	3,79	4,45	4,70	5,08	5,20	5,44	5,68	5,91
42,2	e pour Rm/3	2,54	3,01	3,19	3,47	3,56	3,74	3,92	4,10
	e pour Rm/4	3,32	3,92	4,16	4,50	4,62	4,84	5,07	5,29
	e pour Rm/6	4,79	5,62	5,94	6,41	6,57	6,87	7,17	7,47

ALLIAGES D'ALUMINIUM

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

EN AW-6060 T6

Rm

190 Mpa

Sans coefficient de soudure (z = 1)

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} \text{mm} \\ \text{MPa} \end{matrix}$$

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	20	30	40	50
20	e pour Rm/3	0,31	0,46	0,61	0,76
	e pour Rm/4	0,41	0,61	0,81	1,00
	e pour Rm/6	0,61	0,90	1,19	1,46
25	e pour Rm/3	0,39	0,58	0,77	0,95
	e pour Rm/4	0,52	0,77	1,01	1,25
	e pour Rm/6	0,77	1,13	1,49	1,83
30	e pour Rm/3	0,47	0,69	0,92	1,14
	e pour Rm/4	0,62	0,92	1,21	1,50
	e pour Rm/6	0,92	1,36	1,78	2,20
35	e pour Rm/3	0,54	0,81	1,07	1,33
	e pour Rm/4	0,72	1,07	1,41	1,75
	e pour Rm/6	1,07	1,58	2,08	2,56
40	e pour Rm/3	0,62	0,93	1,22	1,52
	e pour Rm/4	0,82	1,22	1,62	2,00
	e pour Rm/6	1,22	1,81	2,38	2,93
45	e pour Rm/3	0,70	1,04	1,38	1,71
	e pour Rm/4	0,93	1,38	1,82	2,25
	e pour Rm/6	1,38	2,04	2,67	3,29
50	e pour Rm/3	0,78	1,16	1,53	1,90
	e pour Rm/4	1,03	1,53	2,02	2,50
	e pour Rm/6	1,53	2,26	2,97	3,66

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

EN AW-5754

Rm

180 Mpa

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} mm \\ MPa \end{matrix}$$

Sans coefficient de soudure (z = 1)

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	20	30	40	50
20	e pour Rm/3	0,33	0,49	0,65	0,80
	e pour Rm/4	0,43	0,65	0,85	1,05
	e pour Rm/6	0,65	0,95	1,25	1,54
25	e pour Rm/3	0,41	0,61	0,81	1,00
	e pour Rm/4	0,54	0,81	1,06	1,32
	e pour Rm/6	0,81	1,19	1,56	1,92
30	e pour Rm/3	0,49	0,73	0,97	1,20
	e pour Rm/4	0,65	0,97	1,28	1,58
	e pour Rm/6	0,97	1,43	1,88	2,31
35	e pour Rm/3	0,57	0,85	1,13	1,40
	e pour Rm/4	0,76	1,13	1,49	1,84
	e pour Rm/6	1,13	1,67	2,19	2,69
40	e pour Rm/3	0,66	0,98	1,29	1,60
	e pour Rm/4	0,87	1,29	1,70	2,11
	e pour Rm/6	1,29	1,90	2,50	3,08
45	e pour Rm/3	0,74	1,10	1,45	1,80
	e pour Rm/4	0,98	1,45	1,91	2,37
	e pour Rm/6	1,45	2,14	2,81	3,46
50	e pour Rm/3	0,82	1,22	1,61	2,00
	e pour Rm/4	1,09	1,61	2,13	2,63
	e pour Rm/6	1,61	2,38	3,13	3,85

Principaux diamètres de tubes ou de collecteurs

EN AW-5083

Rm

270 Mpa

Sans coefficient de soudure (z = 1)

$$f = \frac{P \times (D_e - e)}{2 \times e} \quad e = \frac{P \times D_e}{(2 \times f) + P} \quad \begin{matrix} mm \\ MPa \end{matrix}$$

Epaisseurs minimales (mm) nécessaires en fonction de la pression maximale admissible et du taux de contrainte

Diamètre (mm)	PS (bar)	20	30	40	50
20	e pour Rm/3	0,22	0,33	0,43	0,54
	e pour Rm/4	0,29	0,43	0,58	0,71
	e pour Rm/6	0,43	0,65	0,85	1,05
25	e pour Rm/3	0,27	0,41	0,54	0,68
	e pour Rm/4	0,36	0,54	0,72	0,89
	e pour Rm/6	0,54	0,81	1,06	1,32
30	e pour Rm/3	0,33	0,49	0,65	0,81
	e pour Rm/4	0,44	0,65	0,86	1,07
	e pour Rm/6	0,65	0,97	1,28	1,58
35	e pour Rm/3	0,38	0,57	0,76	0,95
	e pour Rm/4	0,51	0,76	1,01	1,25
	e pour Rm/6	0,76	1,13	1,49	1,84
40	e pour Rm/3	0,44	0,66	0,87	1,08
	e pour Rm/4	0,58	0,87	1,15	1,43
	e pour Rm/6	0,87	1,29	1,70	2,11
45	e pour Rm/3	0,49	0,74	0,98	1,22
	e pour Rm/4	0,66	0,98	1,29	1,61
	e pour Rm/6	0,98	1,45	1,91	2,37
50	e pour Rm/3	0,55	0,82	1,09	1,35
	e pour Rm/4	0,73	1,09	1,44	1,79
	e pour Rm/6	1,09	1,61	2,13	2,63